

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **05010726 A**(43) Date of publication of application: **19.01.93**

(51) Int. Cl. **G01B 11/06**
G01J 3/42
G01N 21/27
G01N 21/41

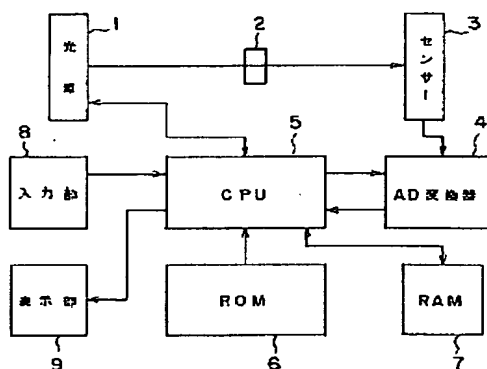
(21) Application number: **03183604**(71) Applicant: **CASIO COMPUT CO LTD**(22) Date of filing: **28.06.91**(72) Inventor: **YAMAGUCHI IKUHIRO**(54) **SPECTROPHOTOMETER**

(57) Abstract:

PURPOSE: To provide a spectrophotometer which can measure the thickness and the refractive index of a thin film simultaneously at high precision.

CONSTITUTION: Light with each wavelength is radiated to a sample 2 a thin film is formed thereon from a light source 1 whose wavelength is variable and the intensity of the transmitted light is detected by a sensor 3. The intensity data of the light is stored in a RAM 7. The transmittance of the thin film and the thickness of the thin film, and the theoretical curve showing the relation between the refractive index and the wavelength of the radiated light are calculated by a CPU 5 and the thickness and the refractive index of a thin film are obtained by making the measured transmittance data at each wavelength and the calculated theoretical curve become most closely akin to each other.

COPYRIGHT: (C)1993,JPO&Japio



(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-10726

(43)公開日 平成5年(1993)1月19日

(51)Int.Cl. ⁴	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 B 11/06	G	7625-2F		
G 0 1 J 3/42	Z	8707-2G		
G 0 1 N 21/27	Z	7370-2J		
21/41	Z	7370-2J		

審査請求 未請求 請求項の数1(全 6 頁)

(21)出願番号 特願平3-183604

(22)出願日 平成3年(1991)6月28日

(71)出願人 000001443

カシオ計算機株式会社

東京都新宿区西新宿2丁目6番1号

(72)発明者 山口 郁博

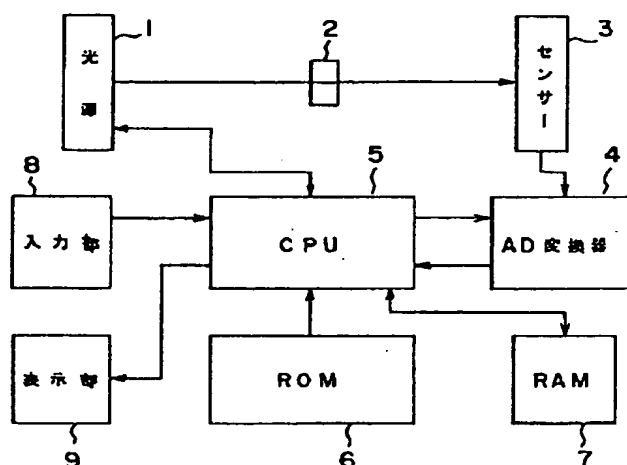
東京都八王子市石川町2951番地の5 カシオ計算機株式会社八王子研究所内

(54)【発明の名称】 分光光度計

(57)【要約】

【目的】薄膜の膜厚と屈折率とを同時に高精度で測定することができる分光光度計を提供することを目的とする。

【構成】波長が可変の光源1から、薄膜が形成されたサンプル2に各波長の光を照射し、その透過光強度がセンサ3により感知される。この光強度データはRAM7に記憶される。CPU5では、薄膜の透過率と、薄膜の膜厚、屈折率及び照射光の波長との関係を示す理論曲線を求めおき、各波長において、測定された透過率データと、このようにして求めた理論曲線とが最も近似するように薄膜の膜厚及び屈折率を求める。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 波長が可変の光源と、

光源からの各波長の光が被測定体としての薄膜を透過した後の光強度を感知するセンサと、

このセンサが感知した光強度信号に基づいて、薄膜の透過率のスペクトルを得る手段と、

薄膜の膜厚、屈折率及び照射光の波長を変数とする透過率の理論曲線が各波長において、測定された透過率のスペクトルデータと最も近似するように前記薄膜の膜厚及び屈折率を求める手段とを具備することを特徴とする分光光度計。

【発明の詳細な説明】

【0001】

$$d = \frac{N-1}{2 [n^2 - \sin^2 \theta]^{1/2}} \times \frac{1}{\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2}} \quad \dots (1)$$

ただし、式1中、dは膜厚、Nは干渉のピーク（山）数、nは屈折率、 λ_1 は一定波長領域内の最小のピーク波長、 λ_2 は一定波長領域内の最大のピーク波長を示す。

【0004】しかしながら、このような従来の分光光度計には、以下に示すような種々の欠点がある。

【0005】（1）膜厚及び屈折率のどちらかを測定することができるが、これらを同時に求めることはできない。すなわち、膜厚を求める場合には屈折率が既知でなければならず、屈折率を求める場合には膜厚が既知でなければならない。

【0006】（2）屈折率が知られている材料であっても、成膜基板温度などの成膜条件により屈折率は変化する。従って、精度良く膜厚を求めるためには、サンプルそれ自体の屈折率を別な方法で求めておく必要があり複雑である。

【0007】（3）ピーク波長は膜厚によって異なるので、屈折率の波長依存性を無視することができない場合には、その波長における屈折率を用いなければならない。

【0008】（4）膜厚を求める際には、通常、簡単のため同一材料に対しては同一の屈折率を用いる。これは、上で述べたように屈折率のサンプル依存性及び波長依存性を共に無視していることになり膜厚の算出にその分の誤差が生じるからである。

【0009】（5）逆に膜厚を既知として屈折率を求める場合でも、求められる屈折率はピーク間の波長における屈折率であり、従ってサンプル毎に異なる意味を有することとなり、高精度でサンプル評価を行うことができない。

【0010】（6）測定する波長領域において、少なくとも2つのピーク（山）がなければ計算が不能であり、

【産業上の利用分野】この発明は、薄膜の膜厚及び屈折率を同時に測定することができる分光光度計に関する。

【0002】

【従来技術及び発明が解決しようとする課題】薄膜の膜厚及び屈折率を算出する機能を有する分光光度計としては、従来、透過率又は反射率の測定をある波長範囲で行い、多重反射による干渉のピーク（山）をカウントするものが知られている。例えば入射角 θ で反射率を測定し、膜厚又は屈折率を求める場合、以下の式1によりデータが処理される。

【0003】

【数1】

少なくとも2つのピークが存在するためには測定するサンプルの膜厚×屈折率が大きく、かつ膜厚×吸収係数が十分小さい必要がある。

【0011】（7）ピーク（山）を2つカウントできる場合でも、ピーク波長付近でサンプルの吸収係数が大きいときは、式1は厳密には成り立たなくなり、求められる結果に誤差が生じる。

【0012】すなわち、従来の分光光度計では、薄膜の膜厚と屈折率とを同時に精度良く求めることができない。

【0013】この発明はこのような実情に鑑みてなされたものであって、薄膜の膜厚と屈折率とを同時に高精度で求めることができる分光光度計を提供することを目的とする。

【0014】

【課題を解決するための手段】この発明は、上記課題を解決するために、波長が可変の光源と、光源からの各波長の光が被測定体としての薄膜を透過した後の光強度を感知するセンサと、このセンサが感知した光強度信号に基づいて、薄膜の透過率のスペクトルを得る手段と、薄膜の膜厚、屈折率及び照射光の波長を変数とする透過率の理論曲線が各波長において、測定された透過率のスペクトルデータと最も近似するように前記薄膜の膜厚及び屈折率を求める手段とを具備することを特徴とする分光光度計を提供する。

【0015】

【作用】この発明においては、センサが感知した光強度信号に基づいて、薄膜の透過率データを得、この透過率のスペクトルデータに対して、薄膜の膜厚、屈折率及び照射光の波長を変数とする理論曲線を最適化するので、薄膜の膜厚及び屈折率を同時に高精度で求めることができる。

【0016】

【実施例】以下、添付図面を参照して、この発明の実施例について説明する。図1はこの発明の一実施例に係る分光光度計を示す構成図である。光源1は出射する光の波長が可変のものであり、CPU5からの制御信号により所定波長の光を出射する。この光は、透明基板の上に薄膜が形成されたサンプル2に照射される。サンプル2を透過した光はセンサ3に導かれ、ここで光強度が感知される。この感知された光強度信号はAD変換器4にアナログ出力される。CPU5は光源1及びAD変換器4の制御及び後述するデータ処理を行う。ROM6は、そのデータ処理のためのプログラム及びそのために必要な基礎データが格納されている。RAM7はデータ処理の各過程でデータの一時保存に用いられる。入力部8は測定、データ処理に必要なパラメータを入力するためのものであり、表示部9は測定・データ処理の操作上のプロンプトやデータ処理結果等を表示するためのものである。

【0017】次に、このような分光光度計を用いた実際の測定及びデータ処理について説明する。

【0018】まず、薄膜の測定に先立ち、透明基板（リファレンス）のみの測定を行う。この場合に、測定する波長範囲及びスキャン間隔は事前に測定者が設定する。例えば、波長200nmから2600nmの範囲を5nm毎にサンプリングする。このリファレンスの測定に際しては、まず、CPU5が光源1を制御して所定の波長を出射させる。次に、AD変換器4を制御してセンサ3からのアナログ信号をAD変換する。そして、サンプリングされたデータを光強度に変換し、RAM7に記憶させる。この変換に必要な基礎データ（光強度とセンサのアナログ出力との対応関係）はROM6に格納されている。CPU5は、以上の測定を設定された波長範囲、波長間隔で次々に繰り返す。こうしてリファレンスデータの測定・記憶が終了する。

【0019】次に、サンプル交換を行い、薄膜が形成さ

れたサンプルの測定を行う。測定する波長範囲及びスキャン間隔は、リファレンス測定の際と同一とする。データの処理も基本的には同一であるが、光強度を測定した後に、夫々対応する波長のリファレンスデータを読出し、そのリファレンスデータとの比、すなわち薄膜の透過率を計算し、その透過率データをRAM7に記憶させる点が付加されている。なお、この透過率データの算出及び記憶は、各波長での光強度測定毎に順次行っても良いし、全ての波長での測定が終了した後に一括して行うようにしても良い。

【0020】図2は、このようにして測定した結果が表示部9に表示された例を、非晶質Siの薄膜を測定した場合について示すものである。

【0021】次に、このようにして求めたデータから膜厚及び屈折率を求めるデータ処理について説明する。図3はこの際の処理を示すフローチャートである。

【0022】このデータ処理は、基本的にはモデル計算の結果が測定データと最も良く合うように膜厚及び屈折率を求めるものである。モデル計算では薄膜の吸収係数を0として計算するので、両者を比較照合する波長範囲は、測定する材料に応じて吸収を無視することができる波長範囲に設定する。図2に示した測定結果からすると、Siの場合には、この波長範囲は1200nm以上、望ましくは1400nm以上であり、例えば1400nmから2600nmまでとする。この波長範囲は狭すぎると測定ノイズが処理結果に影響するなどの不都合が生じる。また、広すぎるとその波長範囲における屈折率の変化を無視することができなくなり、処理結果に誤差が生じてしまう。ただし、同一材料であれば、サンプル毎の膜厚の違いや屈折率の違いがあっても処理結果にほとんど影響はなく、この範囲は一定にしておくことができる。吸収係数を0とした場合の薄膜の透過率は、以下の式2で表わすことができる。

【0023】

【数2】

$$T = \frac{4n^2(n_0 + n_1)^2}{(n + n_0)^2 \times (n + n_1)^2} \times \frac{1}{1 + r_0 r_1 + 2r_0 r_1 \cos(\delta + \delta_0 + \delta_1)}$$

… (2)

ここでnは薄膜の屈折率、 n_0 は空気の屈折率、 n_1 は透明基板の屈折率を表わす。 r_0 は光が空気中から薄膜に入射する際の振幅反射率、 r_1 は光が薄膜から透明基板に入射する際の振幅反射率、 δ は光が薄膜中を進行する際の位相のずれ、 δ_0 は光が空気中から薄膜に入射する際の位相のずれ、 δ_1 は光が薄膜から透明基板に入射する際の位相のずれを表わす。

【0024】各振幅反射率 r_0 、 r_1 及び位相のずれ δ 、 δ_0 、 δ_1 は、薄膜、空気及び透明基板の各屈折率 n 、 n_0 、 n_1 と薄膜の膜厚d及び光の波長 λ を用いて以下の式3～5のように表わすことができる。

【0025】

【数3】

$$r_i = \left| \frac{n - n_i}{n + n_i} \right| \quad i = 0, 1 \quad \dots (3)$$

$$\delta = \frac{4\pi nd}{\lambda} \quad \delta_i = \frac{(-1)^i [n^2 - n_i^2]}{|n - n_i| \times |n + n_i|} \quad i = 0, 1 \quad \dots (4)$$

... (5)

ここで、各光の波長に対する空気及び透明基板の屈折率 n_0 及び n_1 の値は、事前測定により一義的に決まる値であり、その波長分散とともにROM6に格納しておけばよい。

【0026】従って、式2に式3～5で計算した値を代入すると、薄膜の透過率の理論曲線 $T(d, n, \lambda)$ を求めることができる。各波長において、測定された透過

率データと、このようにして求めた理論曲線 $T(d, n, \lambda)$ とが最も近似するように n 及び d を求める。 n 及び d を求める方法は種々考えられるが、例えば、式6に示すように差の自乗和が最小になるように求める。

【0027】

【数4】

$$S = \sum_k [T_k - T(d, n, \lambda_k)]^2 \quad \dots (6)$$

図3は、その解法としてGauss-Newton法を用いた場合のアルゴリズムである。膜厚、屈折率に対応する未知のパラメータを X_1, X_2 で表わし、波長 λ_k におけるスペクトル及び理論値を夫々 $T_k, T(X_1, X_2, \lambda_k)$ と表わしている。

【0028】このアルゴリズムはROM6にプログラムされており、CPU5により実行される。ROM6に複数種の基板の透過率データが格納されているとすると、先ず最初に入力部8から基板の材料名を入力してROM6から基板の屈折率データを読み出す。そして次に、薄膜の透過率の測定データとモデル計算（理論曲線）とを比較照合する波長範囲を入力部8から入力し、さらに前記アルゴリズムに基づく計算処理を実行させるため、薄膜の膜厚及び屈折率の初期値を入力部8から入力する。これにより前記アルゴリズムに基づく計算処理が図示の如く繰り返し実行され、理論曲線 $T(d, n, \lambda)$ が、測定された透過率データに最も近似する時の薄膜の膜厚及び屈折率が解として求められる。CPU5はこの処理を行った後に、求められた膜厚と屈折率とを表示部9に表示する。

【0029】このように、透過率のスペクトルデータに対して各波長に対応する理論曲線を最適化することにより、薄膜の膜厚及び屈折率を同時に高精度で求めることができる。このため、膜厚測定において屈折率の変動に

よる誤差を原理的になくすことができる。また、このようにして薄膜の膜厚及び屈折率を求めるので、スペクトルデータにピーク山が2つ以上現れないような薄い膜の測定も可能である。

【0030】

【発明の効果】この発明によれば、薄膜の膜厚と屈折率とを同時に高精度で求めることができる分光光度計が提供される。また、この分光光度計は測定波長範囲に薄膜による光の吸収を無視できる領域が存在すれば簡単な手順で膜厚、屈折率を測定することが測定できるので、半導体材料などの膜厚及び屈折率評価に利用することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の一実施例に係る分光光度計を示す構成図。

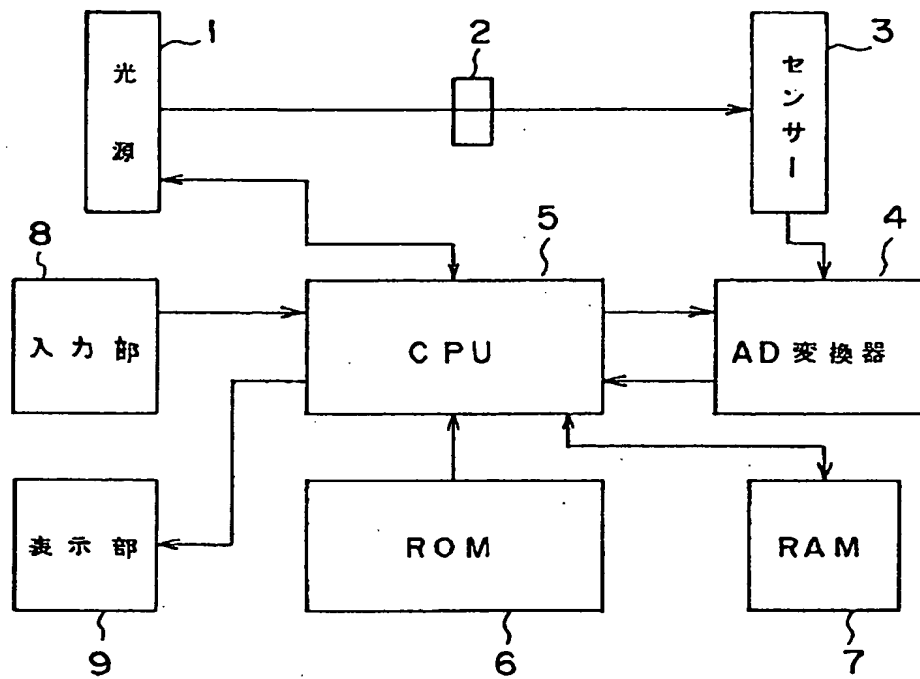
【図2】図1の分光光度計を用いて照射光波長と透過率との関係を求めた例を示す図。

【図3】照射光波長と透過率との関係から薄膜の膜厚及び屈折率を求めるデータ処理を示すフローチャート。

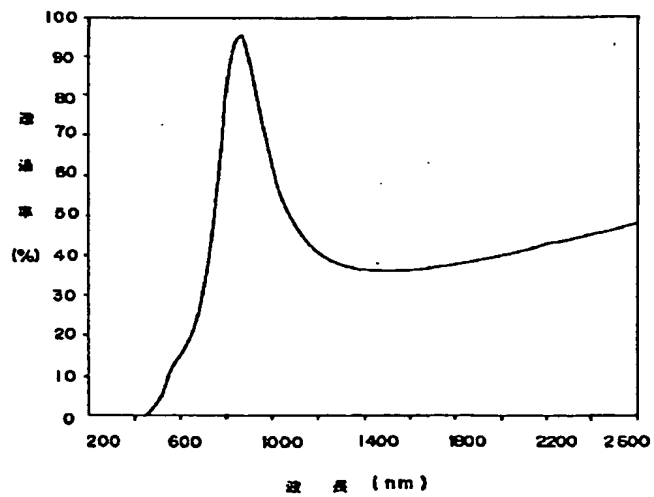
【符号の説明】

1；光源、2；サンプル、3；センサ、4；AD変換器、5；CPU、6；ROM、7；RAM、8；入力部、9；表示部。

【図1】



【図2】



【図3】

